

## Pengaruh Deformasi Dingin dan *Surface Mechanical Attrition Treatment (SMAT)* Terhadap Kekerasan Baja Tahan Karat 316L

Nurfi Ahmadi<sup>1</sup> dan Suyitno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi S-2 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281  
Email: nurfi.ahmadi@yahoo.com

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281

### Abstrak

Baja tahan karat 316L mempunyai kegunaan yang luas. Material ini mempunyai *biocompatibility* dan ketahanan korosi yang baik, namun material ini mempunyai kekerasan yang rendah. Peningkatan kekerasan pada baja tahan karat 316L dapat dilakukan dengan deformasi dingin dan *surface mechanical attrition treatment (SMAT)*. Deformasi dingin dapat meningkatkan jumlah dislokasi sehingga meningkatkan sifat mekanik logam karena adanya *strain hardening*, sedangkan *SMAT* bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik material dengan menghasilkan lapisan nano pada permukaan material. Penelitian penggabungan deformasi dingin dan *SMAT* belum banyak dilakukan oleh karena itu perlu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh deformasi dingin dan *SMAT* dengan variasi durasi waktu serta diameter bola milling terhadap kekerasan baja tahan karat 316L. Penelitian dilakukan dengan uji laboratorium, material yang digunakan adalah baja tahan karat 316L dengan kandungan 67,12 Fe, 0,030 C, 0,673Si, 0,1738Mn, 0,034P, 0,015S, 0,567Ni, 16,686Cr, 2,386Mo, 0,342Cu, 0,001Al, 0,008Nb, 0,11V, 0,20W dan 0,002Ti. Spesimen berukuran 15 mm X 15 mm dengan tebal 3 mm. Proses deformasi dilakukan dengan mesin hidrolik hingga menghasilkan efek deformasi 48%. Proses *SMAT* dilakukan setelah deformasi dingin dengan variasi waktu 5, 10 dan 15 menit, dan variasi diameter bola milling 3,18, 3,97, 4,76, dan 6,35 mm dengan kecepatan motor 1400 rpm dan jumlah bola milling 250 butir. Pengujian kekerasan dilakukan pada penampang melintang pada kondisi: 1)sebelum perlakuan, 2)setelah deformasi dingin 3)setelah deformasi dingin dan dilanjutkan *SMAT*, pengujian kekerasan dilakukan dengan alat uji mikro vickers dengan pembebanan 300 gram. Sedangkan struktur mikro spesimen dilihat dengan mikroskop optik. Hasil penelitian menunjukkan kekerasan raw spesimen 158 Hv setelah deformasi dingin mengalami kenaikan menjadi 362 Hv atau kenaikan sebesar 230% dibanding kekerasan raw material dengan bentuk struktur mikro memanjang. Kekerasan permukaan melintang material setelah dilakukan deformasi dingin dan *SMAT* meningkat seiring dengan bertambahnya durasi waktu dan diameter bola milling dan menurun seiring dengan kedalaman dari permukaan spesimen sedangkan ukuran struktur mikro pada permukaan material setelah perlakuan deformasi dingin dan *SMAT* mengalami penurunan ukuran dibandingkan raw material.

**Keywords:** *Deformasi dingin, SMAT, Baja tahan karat 316L, Kekerasan, Struktur mikro*

### Pendahuluan

Baja tahan karat 316L merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan di bidang *biomaterial* (Ige, dkk, 2009). Kelebihan material ini antara lain mempunyai *biocompatibility* serta ketahanan terhadap korosi yang baik (Ige, dkk, 2009), selain beberapa kelebihan material ini juga mempunyai beberapa kelemahan diantaranya mempunyai kekerasan dan kekuatan yang rendah (Roland T., dkk, 2006). Sifat fisis dan mekanik material kristalin ditentukan oleh beberapa faktor. Faktor yang utama yaitu ukuran butir rata-rata dari material. Kekuatan material polikristalin berhubungan erat dengan ukuran butir, semakin kecil ukuran butir maka kekuatan material semakin besar, sesuai dengan persamaan Hall-Petch (Callister, 2000).

Baja tahan karat 316L merupakan material yang mempunyai sifat non heat treatment. Peningkatan kualitas permukaan dapat dilakukan dengan perlakuan mekanik. Metode perlakuan mekanik dapat dilakukan secara sederhana, salah satu metodenya adalah deformasi dingin dan *SMAT*. Deformasi dingin merupakan perlakuan deformasi menyeluruh yang baik untuk meningkatkan sifat mekanis baja tahan karat AISI 316L. Perlakuan deformasi mengakibatkan butiran menjadi memanjang (Ratuszek, dkk, 2008) dan lebih tipis (Callister, 2000). *SMAT* adalah salah satu teknik penghalusan butiran pada lapisan permukaan bahan tanpa mengubah komposisi kimia (Mahagaonkar, dkk, 2008). *SMAT* dilakukan dengan menumbukkan (impact) bola-bola milling secara acak pada permukaan material sehingga terbentuk lapisan dengan struktur orde nano (Lu dan

Lu, 2004).

Deformasi dapat meningkatkan terjadinya jumlah dislokasi sehingga meningkatkan sifat mekanik logam karena adanya *strain hardening* (Domankova, dkk, 2007) sedangkan *SMAT* bertujuan untuk meningkatkan dan memperbaiki sifat mekanik material dengan menghasilkan lapisan nano pada permukaan material.

Penelitian tentang efek deformasi dingin terhadap sifat material telah dilakukan seperti kekerasan oleh Huda, (2009) ; Milad, dkk, (2008) ; Kimura, dkk, (2005), begitu juga tentang efek *SMAT* terhadap kekerasan oleh Roland, dkk, (2006) ; Chen, dkk, (2005), namun penelitian tentang penggabungan deformasi dingin dan *SMAT* belum banyak dilakukan. Pada penelitian ini akan dipelajari efek penggabungan deformasi dingin dan *SMAT* terhadap kekerasan spesimen dengan variasi durasi waktu dan diameter bola milling *SMAT*

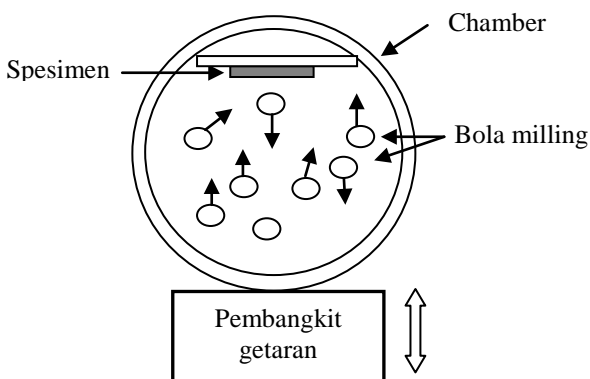
**Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan**

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tahan karat 316L. Komposisi kimia yang terkandung didalamnya dapat dilihat pada tabel 1.

**Table 1.** Komposisi kimia baja tahan karat AISI 316L

Fe	C	Si	Mn		P	S	Ni
67,12	0,030	0,673	0,1738		0,034	0,015	0,567
Cr	Mo	Cu	Al	Nb	V	W	Ti
16,686	2,386	0,342	0,001	0,008	0,11	0,20	0,002

Spesimen baja tahan karat dibentuk dengan ukuran 15 mm X 15 mm dengan tebal 3 mm. Pada proses diformasi dilakukan dengan menekan spesimen dengan mesin hidrolik dengan pembebanan 140 ton hingga menghasilkan efek deformasi sebesar 48%. Proses *SMAT* dilakukan setelah proses deformasi dingin dengan variasi waktu 5, 10 dan 15 menit, dan variasi diameter bola baja 3,18, 3,97, 4,76, dan 6,35 mm dengan kecepatan motor 1400 rpm dan jumlah bola baja 250 butir. Skema proses *SMAT* dapat dilihat pada gambar 1.

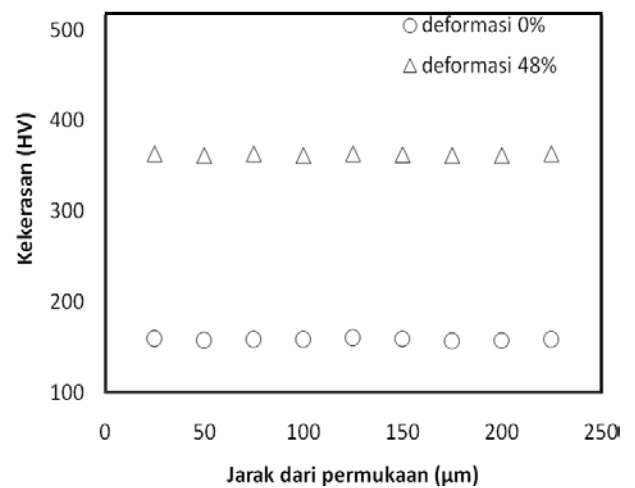


**Gambar 1.** Skema proses *SMAT*

Pengujian kekerasan dilakukan pada penampang melintang spesimen dengan alat uji mikro Vickers dengan pembebanan 300 gram pada kondisi 1)sebelum deformasi, 2)setelah deformasi dan 3) setelah deformasi dilanjutkan *SMAT*. Sedangkan struktur mikro dari spesimen dilihat dengan mikroskop optik.

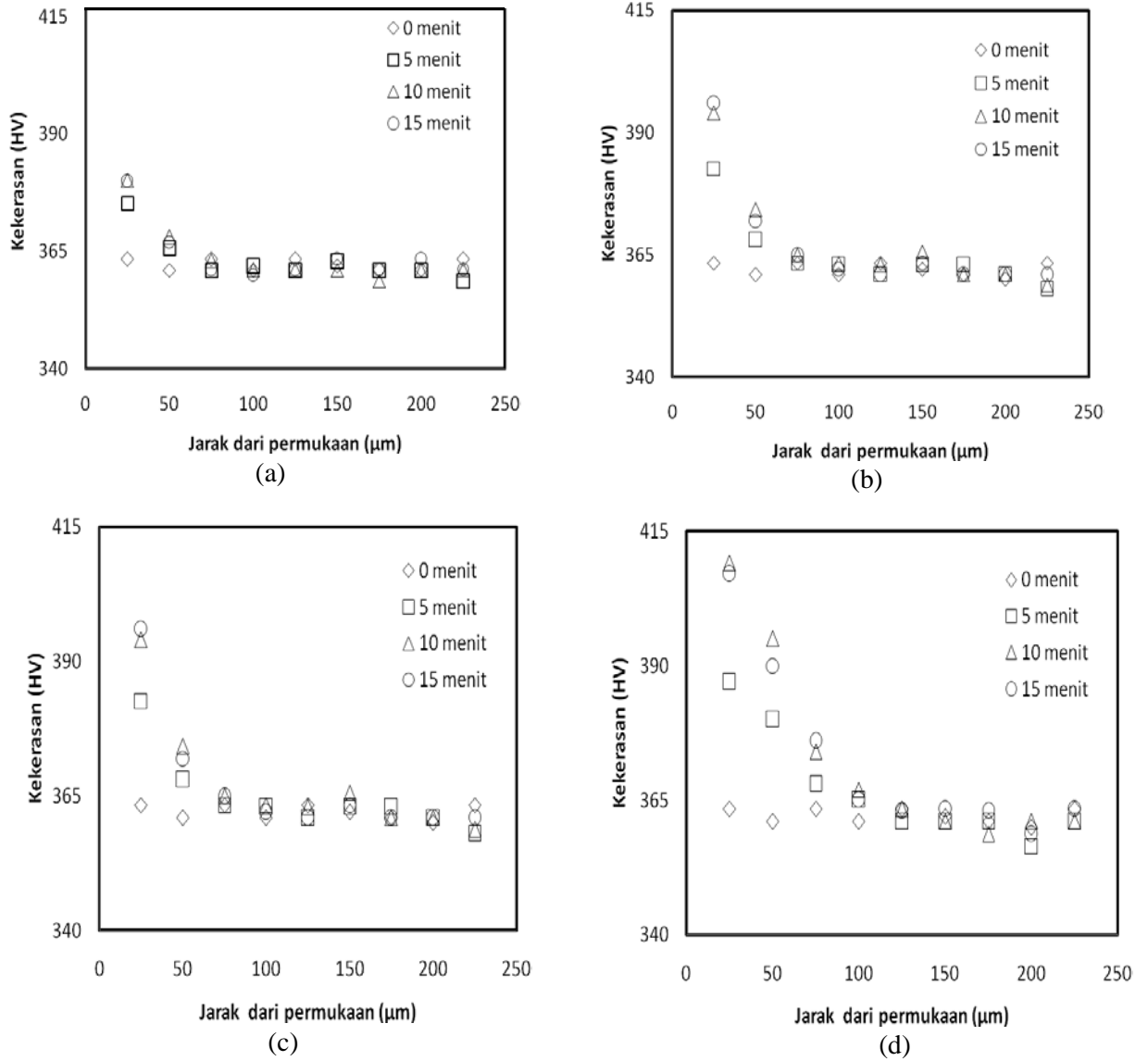
**Hasil dan Pembahasan  
Pengujian Kekerasan**

Kekerasan spesimen yang mendapatkan perlakuan deformasi dingin meningkat. Kekerasan rata-rata dari raw material adalah 158 Hv setelah dilakukan deformasi 48% rata-rata kekerasan meningkat menjadi 362 Hv atau mengalami kenaikan sebesar 230% dibanding kekerasan raw material, seperti ditunjukkan pada gambar 2. Kekerasan meningkat akibat deformasi dingin. Pernyataan yang sama juga ditunjukkan untuk material yang berbeda (Huda, 2009; Milad, 2008). Hal ini juga memperkuat kesimpulan dari penelitian yang dilakukan oleh Widodo, (2010) dan Pramudia, (2011)

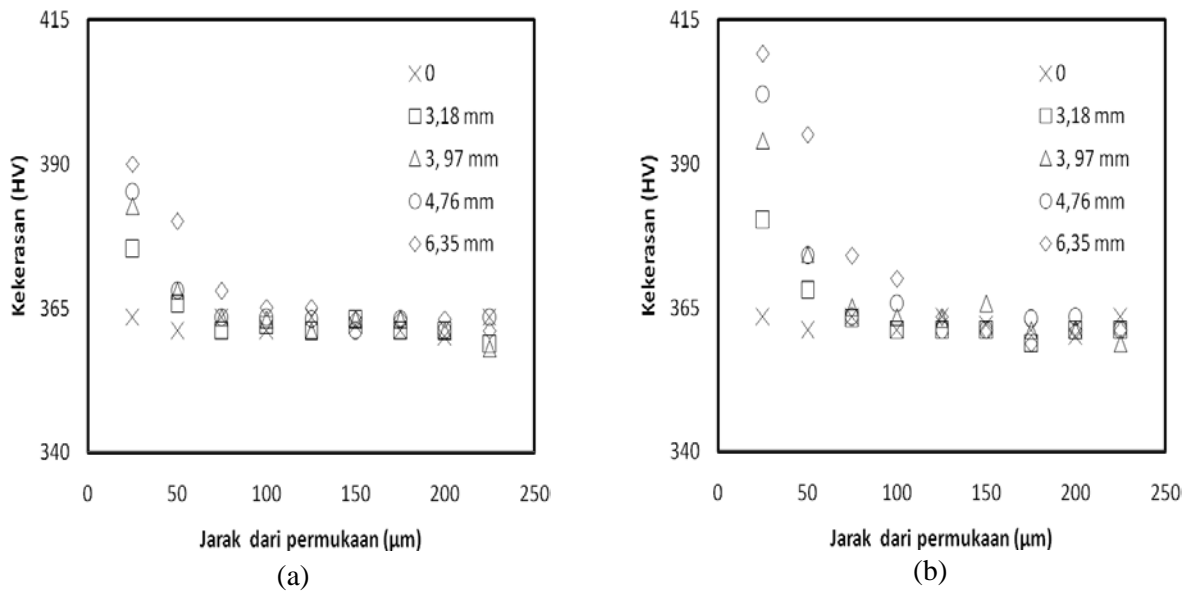


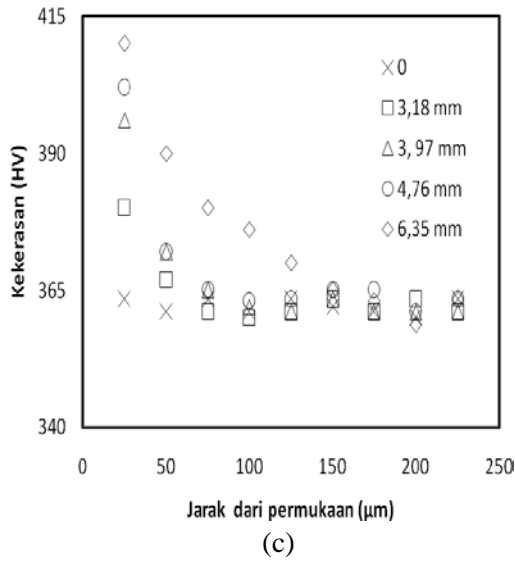
**Gambar 2.** Pengaruh deformasi terhadap kekerasan

Distribusi kekerasan permukaan melintang setelah dilakukan deformasi dingin dan *SMAT* pada semua durasi waktu dan ukuran bola milling mengalami kenaikan dan menurun seiring dengan kedalaman. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Arifvianto, dkk (2011). Dari gambar 3. dapat dilihat nilai kekerasan spesimen naik seiring dengan penambahan durasi waktu namun pada durasi lebih dari 10 menit kekerasan cenderung tidak mengalami kenaikan. Distribusi kekerasan spesimen setelah perlakuan *SMAT* dengan variasi diameter bola milling dapat dilihat pada gambar 4. kekerasan permukaan spesimen naik seiring dengan bertambahnya diameter bola milling. Hal ini diakibatkan oleh masa bola milling yang bertambah sehingga menyebabkan gaya impact pada spesimen semakin besar (Arifvianto, dkk, 2011)



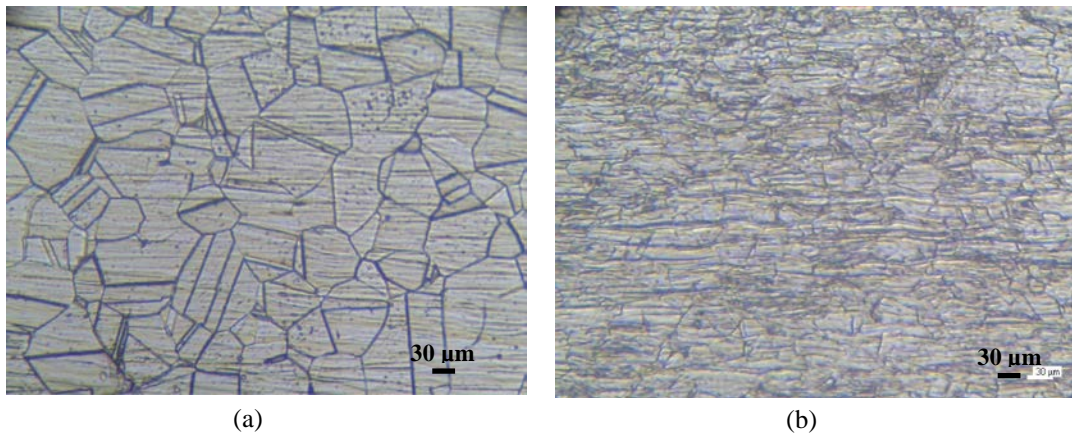
**Gambar 3.** Pengaruh durasi waktu terhadap kekerasan dengan diameter bola milling;  
 (a) 3,18 mm (b) 3,97 mm (c) 4,76 mm d) 6,35 mm





**Gambar 4.** Pengaruh diameter bola milling terhadap kekerasan dengan durasi waktu; (a) 5 menit (b)10 menit (c) 15 menit

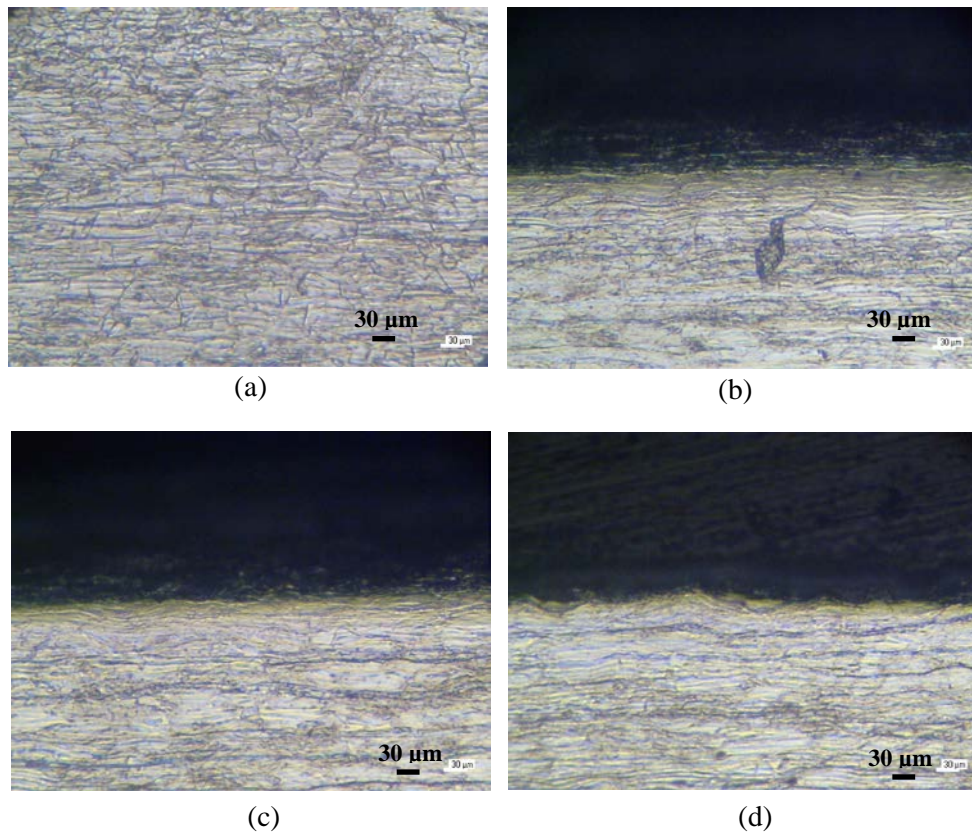
**Struktur mikro**



**Gambar 5.**Foto mikro penampang melintang; (a) deformasi 0% (b) deformasi 48%

Foto struktur mikro spesimen sebelum dan sesudah dideformasi 48% ditunjukkan pada gambar 5. Deformasi mengakibatkan ukuran butiran mengecil dan berbentuk memanjang. Hal ini sesuai dengan teori bahwa slip dapat terjadi pada material yang terdeformasi (Dieter, 1988). Hal ini juga dinyatakan dalam penelitian Ratuszek, dkk, (2008). Penelitian yang dilakukan oleh Domankova, dkk, (2007) menyebutkan bahwa peningkatan derajat deformasi akan meningkatkan kekerasan baja tahan karat. Hal ini karena deformasi menyebabkan perubahan ukuran butiran serta menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah dislokasi. Pada gambar 6. ditunjukkan struktur mikro spesimen yang dideformasi 48%

kemudian di SMAT dengan diameter bola milling 6,35 mm, variasi waktu 0, 5, 10, dan 15 menit. Pada gambar 6. dapat diamati terjadi penghalusan butir pada permukaan. Penghalusan butir ini akibat *severe plastic deformation (SPD)*. Mekanisme *SPD* terjadi dengan dimulainya proses dislokasi. Dislokasi terjadi jika butir pada material terkena tegangan geser yang melebihi tegangan geser maksimum butir. Dislokasi dapat berupa slip maupun twin. Bidang geser pada proses dislokasi saling memotong dan membentuk pola baru jarak antar bidang geser sangat dekat sehingga menyebabkan dislokasi pada sel dengan ukuran dibawah micrometer (Rosochoski dan Olejnik, 2009).



**Gambar 6.** Foto mikro penampang melintang; (a) deformasi 48%  
(b) deformasi 48% + SMAT 5 menit (c) deformasi 48% + SMAT 10 menit  
(d) deformasi 48% + SMAT 15 menit

## Kesimpulan

Deformasi dingin dapat mengakibatkan perubahan struktur butiran dengan ukuran butir mengecil dan bentuk memanjang, sedangkan *SMAT* mengakibatkan struktur pada permukaan spesimen mengalami penghalusan butiran.

Deformasi dingin sebesar 48% dapat meningkatkan kekerasan spesimen dari kekerasan raw material 158 Hv menjadi 362 Hv.

Gabungan proses deformasi dingin dan *SMAT* hasil penelitian menunjukkan peningkatan kekerasan pada permukaan spesimen hingga mencapai kekerasan 410 Hv. Kenaikan kekerasan seiring dengan durasi waktu sampai batas tertentu serta diameter bola milling dan menurun seiring dengan kedalaman dari permukaan spesimen.

## Referensi

Arifvianto B., Suyitno, M.Mahardika, P.Dewo, P.T.Iswanto, U.A. Salim, Effect of surface mechanical

attrition treatment (*SMAT*) on microhardness, surface roughness and wettability of AISI 316L, *Materials Chemistry and Physics*, Vol 125 (2011)

Callister Jr.,W.D., *Fundamentals of materials science and engineering*, John Wiley & Sons, Fifth Edition, New York, United States Of America (2000)

Dieter G.E., *Mechanical Metalurgy*, McGraw-Hill Book Company, S1 Metric edition, London,United Kingdom (1988)

Domankova, M., Peter, M., dan Moravcik,R., The effect of cold work on the sensitization of austenitic stainless stells, *Original Scientific Article*, Vol.131 (2007)

Huda, Z., Effect of degrees of cold working and recrystallisation on the microstructure and hardness of commercial-purity aluminium, *European Journal of Scientific Research*, Vol. 4 (2007)

Ige, O.O., Umoru, L.E., Adeoye, M.O., Adetunji, A.R.,

Olorunniwo, O.E., dan Akomolafe, I.I, Monitoring, control, and prevention practises of biomaterials corrosion –an overview, Trends Biomaterials Artificial Organs, Vol.23 (2009)

Kimura, A., Noda, T., Ohkuba, H., Kamada, Y., dan Takashi, s., Correlation between deformation-induced microstructures and TGSCC susceptibility an low carbon austenitic stainless steel, The Mineral, Metal,s, and Materials Society (2005)

Lu, J., and Lu, K., .Nanostructured surface layer on metallic materials induced by surface mechanical attrition treatment,Materials Science and Engineering, A375-377, pp. 38-45 (2004)

Mahagaonkar S. B. dan Brahmanekar P. K.,Effect of shot peening parameters on microhardness of AISI 1045 and 316L material: an analysis using design of experiment, International Journal Advance Manufactur Technology, Vol.38, No.5, pp. 563–574 (2008)

Milad, M., Zreiba,N., Elhalouni,F., Baradai C., The effect of cold work on structure and properties of AISI 304 stainless steel, Journal of Materials processing Technology, Vol.203, Issue 12 (2008)

Pramudia, M., Pengaruh deformasi dingin, annealing, SMAT, serta sandblasting terhadap struktur mikro, kekerasan, dan laju korosi baja tahan karat 316L. Tesis, Universitas Gadjah Mada (2011)

Ratuszek, W., Kowalska, J., Bunch, A., Ruminsky, A., Developement of deformation texture of austenitic steel wire, Achive Metalurgy and Material, Vo.53, Issue 1 (2008)

Roland T.,Retraint D.,Lu K.,Lu.J., Fatigue life improvement through surface nanostructuring of stainless steel by means of surface mechanical attrition treatment, Scripta materialia, Vol.54, pp.1049-1054 ( 2006)

Rosochoski, A., dan Olijnik, L,. Ultrafine grains-a new option for light metals, Materilas Technology, Vol.24 (2009)

Widodo,T.D., Pengaruh deformasi dingin dan sandblasting terhadap kekuatan tarik, kekerasan, strukturmikro, dan ketahanan korosi baja tahan karat AISI 316L, Tesis, Universitas Gadjah Mada (2010)